PRÉVENTION DES RISQUES DANS LES UNITÉS METTANT EN ŒUVRE DES NANOMATÉRIAUX

Objet de la note

Cette note propose des conseils pratiques de prévention pour la fabrication et l'utilisation de nanomatériaux dans les structures opérationnelles de recherche et de service.

Elle s'adresse aux directeurs d'unité, aux responsables d'équipes, aux assistants de prévention et à l'ensemble des utilisateurs des laboratoires. Elle est également une source de recommandations pour aider les préventeurs et les médecins de prévention dans leur mission de conseil.

Ce document porte spécifiquement sur les nanomatériaux manipulés de manière volontaire et non sur les nanomatériaux issus des procédés de travail de façon secondaire (fumée de soudage, combustion…). Il permet, dans le cadre d'une démarche d'évaluation des risques professionnels menée aux postes de travail, d'aider à la mise en place de mesures de prévention et de protection vis-à-vis des personnels susceptibles d'être exposés aux nanomatériaux.

Contenu

Cette note a été rédigée par un groupe de travail composé de :

Fenech Yves, Coordinateur national de prévention et de sécurité, Coordination nationale de prévention et de sécurité du CNRS ;

Leblanc Stéphane, Ingénieur Régional de Prévention et de Sécurité, Délégation Midi-Pyrénées du CNRS ;

Lecètre-Roland Béatrice, Ingénieur Régional de Prévention et de Sécurité, Délégation Ile-de-France Sud du CNRS ;

Lion Michel, Secrétaire du Comité Central d'Hygiène, de Sécurité et des Conditions de Travail du CNRS, GANIL ;

Mathet Véronique, Référente « sécurité des nano-matériaux » pour le centre d'Intégration Paris-Région - Programme Nano-INNOV, Mission pour l'interdisciplinarité du CNRS ;

Moncoq Damien, Chargé de mission pour la prévention des risques liés à la mise en œuvre des nanomatériaux au CNRS, Ingénieur Régional de Prévention et de Sécurité, Délégation Centre Poitou-Charentes du CNRS ;

Ricaud Myriam, Ingénieur chimiste, Pôle Risques Chimiques - Département Expertise et Conseil Technique - Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), chef de projet du guide INRS 6115 : « Nanomatériaux. Prévention des risques dans les laboratoires » ;

Vasseur Arnauld, Médecin coordonnateur national, Coordination nationale de la médecine de prévention du CNRS ;

Volto Natacha, Ingénieur de prévention et de sécurité, Coordination nationale de prévention et de sécurité du CNRS.

I. DÉFINITION ET CADRE RÉGLEMENTAIRE

A. Définition

Selon la définition de l'ISO[1], un nanomatériau est un matériau dont au moins une dimension est comprise entre 1 et 100 nanomètres (nm) ou qui possède une structure interne ou de surface à l'échelle nanométrique. Il existe donc deux grandes familles : les nano-objets (nanomatériaux, nanofibres, nanofilaments ou nanotubes, nano-feuillets) et les matériaux nanostructurés (agglomérats, agrégats, nanocomposites, matériaux nanoporeux).

Il existe d'autres définitions notamment celle de la Commission Européenne : un nanomatériau est un matériau naturel, formé accidentellement ou manufacturé contenant des particules libres, sous forme d'agrégat ou sous forme d'agglomérat, dont au moins 50 % des particules, dans la répartition numérique par taille, présentent une ou plusieurs dimensions externes se situant entre 1 nm et 100 nm.

Cependant, en termes d'évaluation et de prévention des risques professionnels, il est nécessaire de considérer les objets dont une des dimensions est inférieure à 1 000 nm et les matériaux susceptibles de relarguer des substances à l'état nanoparticulaire dans les conditions normales ou prévisibles d'utilisation.

On distingue les nanomatériaux générés de façon intentionnelle, nommés nanomatériaux manufacturés, des nanomatériaux produits de façon non intentionnelle, c'est-à-dire issus de certains procédés thermiques et mécaniques (fumées de soudage, de découpe plasma, de métallisation...).

B. Cadre réglementaire

1. Code du travail

Les nanomatériaux sont des agents chimiques, ils sont donc soumis à la règlementation visant à assurer la prévention du risque chimique[2].

Les valeurs limites d'exposition professionnelle de la législation française ou européenne ne s'appliquent pas, en l'état, aux nanomatériaux[3]. Cependant, des organismes ont établi des recommandations pour certains agents chimiques sous forme nanométrique (exemples présentés ci-dessous).

Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC)	Noir de carbone sous forme nano/micrométrique	Cancérogène possible pour l'homme (catégorie 2B) (2006)
	Dioxyde de titane sous forme nano/micrométrique	Cancérogène possible pour l'homme (catégorie 2B) (2006)
National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)	Dioxyde de titane fin	2.4 mg/m^3 (2011)
	Dioxyde de titane ultra-fin	0.3 mg/m^3 (2011)
	Nanotubes de carbone	7 µg/m^3 (2010)

2. Code de l'environnement

À partir du 1er janvier 2013, le Code de l'environnement[4] impose une déclaration pour la fabrication, l'importation ou la mise sur le marché de substances à l'état nanoparticulaire ou de matériaux susceptibles d'en rejeter. Ainsi, les fabricants, importateurs et distributeurs de plus de 100 g de substances à l'état nanoparticulaire doivent en déclarer leurs quantités et leurs usages pour

[1] International Organization for Standardization (ISO TS 80004-1 à 4 et ISO TS 27687).
[2] Articles R. 4412-1 à R. 4412-164 du Code du travail.
[3] Certaines substances susceptibles d'être libérées à l'état nanoparticulaire font néanmoins l'objet de textes spécifiques (amiante, poussières de bois...).
[4] Articles L. 523-1 à L. 523-5 et R.523-12 à R523-20 du Code de l'environnement.

l'exercice de l'année N-1. Cette déclaration doit être effectuée auprès de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) avant le 1er mai de chaque année[5].

Cette réglementation s'impose au CNRS en tant qu'établissement de recherche public pouvant fabriquer voire importer des substances à l'état nanoparticulaire en vue de les étudier, caractériser...

A ce titre, il est donc indispensable de tenir un registre destiné à assurer la traçabilité de l'utilisation des nanomatériaux au laboratoire.

II. ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LA DANGEROSITÉ DES NANOMATÉRIAUX

A. DANGER POUR LA SANTÉ

Les nanomatériaux sont suspectés d'avoir un effet délétère[6] sur la santé selon leur nature chimique, leur forme, leur voie de pénétration[7]… Les données actuellement disponibles sont hétérogènes et, pour les expérimentations animales, difficilement transposables à l'homme.

B. INCENDIE – EXPLOSION

Peu de données sur les risques d'incendie et d'explosion des nanomatériaux sont aujourd'hui disponibles. Cependant, on peut retenir que le comportement des nanomatériaux peut être rapproché de celui des poudres fines et ultrafines, en précisant d'autre part que la violence, la sévérité et la facilité de déclenchement d'une explosion ont tendance à augmenter à mesure que la taille des particules diminue.

III. SITUATIONS D'EXPOSITION

Les nanomatériaux sont présents dans tout notre environnement. Ils sont issus soit de sources naturelles (volcans, aérosols marins…) soit d'activités humaines (procédés industriels tels que soudage, résidus de combustion, systèmes de cuisson et de chauffage, fumées de tabac...). L'exposition n'est pas nécessairement liée à une activité pour laquelle l'utilisation des nanomatériaux est consciente ou intentionnelle.

Dans le cadre professionnel, deux types d'exposition doivent être distingués (cf. annexe 1) :

- celui lié à des procédés dont la finalité n'est pas la production de nanomatériaux mais qui en génère ;
- celui lié à la production et à l'utilisation intentionnelle de nanomatériaux.

A. AU POSTE DE TRAVAIL

Les situations d'exposition aux nanomatériaux sont multiples. Il est essentiel d'étudier les protocoles de manipulation ainsi que les méthodes de travail. Une attention particulière doit être portée aux situations susceptibles d'émettre des nanomatériaux telles que :

---

[5] En 2013, une note centrale sera diffusée définissant les modalités de cette déclaration.

[6] A masse et composition chimique équivalentes, les substances à l'état nanoparticulaire présentent une toxicité plus grande et peuvent être impliquées dans la genèse d'effets inflammatoires et conduire à des pathologies pulmonaires, des effets sur le système cardiovasculaire.
La présence de substances absorbées (métaux, hydrocarbures, acides, bases…) influence la toxicité des nanomatériaux.

[7] L'appareil respiratoire constitue la voie principale de pénétration des nanomatériaux dans l'organisme humain. Ils peuvent également se retrouver dans le système gastro-intestinal par ingestion ou après déglutition lorsqu'ils ont été inhalés. La pénétration à travers la peau est une hypothèse encore à l'étude.
Compte tenu de leur taille, les nanomatériaux inhalés ou ingérés seraient capables de franchir les barrières biologiques (nasale, bronchique, alvéolaire…) et de migrer vers différents sites de l'organisme (organes secondaires et notamment le foie et les reins) via le sang et la lymphe (processus de translocation).

- Transfert, échantillonnage, pesée, mise en suspension et incorporation de nanopoudres dans une matrice minérale ou organique.
- Transvasement, agitation, mélange et séchage d'une suspension liquide contenant des nanomatériaux.
- Usinage de nanocomposites : découpe, polissage, ponçage…
- Conditionnement, stockage et transport des produits.
- Nettoyage, entretien et maintenance des équipements et des locaux : nettoyage d'une paillasse, changement de filtres usagés…
- Collecte, conditionnement, entreposage et transport des déchets.
- Vieillissement, usure de matériaux composites.

B. A PROXIMITÉ

Toute émission de nanomatériaux peut contaminer les surfaces (plans de travail, sols, murs…) et les appareils ou équipements utilisés (y compris les équipements de protection collective). Il faut considérer la forte propension des nanomatériaux à se disperser dans l'atmosphère, à se déposer et à s'accumuler aisément sur les surfaces. Ils peuvent être inhalés ou induire une exposition cutanée. Il convient également d'être vigilant aux situations spécifiques pouvant contaminer l'air ambiant et les surfaces des locaux adjacents aux postes de travail telles que :

- Les fonctionnements dégradés, incidents, accidents : fuite d'un réacteur ou d'un système clos, déficiences des protections collectives…
- Le stockage des nanomatériaux, leur transport ainsi que la gestion des déchets générés.
- Le changement de filtres ou de sacs sur un aspirateur.
- Les opérations de maintenance…

IV. ÉVALUATION DES RISQUES

Il n'existe pas de méthode d'évaluation quantitative des risques à ce jour en raison de l'absence d'outil validé et du fait de données toxicologiques parcellaires.

L'utilisation de méthodes d'évaluation qualitative[8] des risques apparaît comme la solution minimale.

Les résultats de cette évaluation qualitative des risques seront consignés dans le document unique d'évaluation des risques.

La démarche à entreprendre consiste à :

- identifier le danger,
- évaluer l'exposition,
- réaliser une évaluation qualitative des risques.

A. IDENTIFICATION DU DANGER

Dans un premier temps, il convient d'identifier et d'inventorier, de façon la plus exhaustive possible, l'ensemble des nanomatériaux qui sont utilisés ou générés au sein du laboratoire. Ce recensement doit être mis à jour périodiquement. Il est nécessaire d'analyser les possibilités de relargage des nanomatériaux dans les situations normales ou anormales de travail.

Un recueil sur les données disponibles de chaque nanomatériau doit être réalisé en récoltant les informations (fiche de données de sécurité (FDS) ; fiche technique (FT) ; littérature), notamment sur la

---

[8] Une méthode qualitative est fondée sur des cotations du danger et des facteurs d'exposition sans faire appel à des mesures. Elle constitue une aide à la décision.

dangerosité[9] et les propriétés physico-chimiques (taille, distribution granulométrique, surface spécifique, morphologie, cristallinité, solubilité, potentiel zêta[10], traitement de surface, pulvérulence, degrés d'agrégation et d'agglomération…).

B. ÉVALUATION DE L'EXPOSITION

Afin d'évaluer l'exposition des personnels au cours de chaque opération et à chaque poste de travail, il est essentiel de recenser les données suivantes :

- les procédés de synthèse ou d'utilisation (méthodes en phase liquide ou vapeur, broyage...) et les modes opératoires mis en œuvre,
- l'état dans lequel se trouvent le ou les nanomatériaux manipulés : poudre, suspension liquide, gel, incorporés dans une matrice…
- la propension à former des nano-aérosols,
- les quantités fabriquées ou mises en œuvre,
- la durée et la fréquence des opérations,
- les voies d'exposition des opérateurs : inhalation, ingestion, contact cutané,
- le nombre de personnes exposées et la fréquence de leur exposition,
- les mesures de prévention et de protection mises en place.

Une stratégie pour caractériser une exposition professionnelle aux nanoaérosols est proposée par l'INRS dans le document référencé ND 2355-226-12 paru le 1er trimestre 2012.

C. ÉVALUATION QUALITATIVE DES RISQUES

L'évaluation qualitative des risques, fondée sur des cotations du danger et des facteurs d'exposition, permet d'effectuer une évaluation objective du risque sans qu'il soit nécessaire, dans un premier temps, d'effectuer de la métrologie.

A titre indicatif, l'outil d'évaluation du risque chimique du CNRS (FEVAR[11]) permet de réaliser cette évaluation.

Un synoptique de la démarche d'évaluation à mettre en œuvre se trouve en annexe 2.

V. MESURES DE PRÉVENTION

Les mesures de prévention s'appliquent sur la base de l'évaluation des risques qui doit être mise à jour annuellement ou lors de toutes modifications importantes (la construction ou la rénovation des locaux est, à ce titre, une bonne opportunité pour optimiser ces mesures).

Dans tous les cas, des mesures minimales sont préconisées (cf. annexe 3).

A. MOYENS HUMAINS

Formation – Information

La formation des personnels est un principe de base de la prévention des risques. Une traçabilité doit en être assurée.

La formation devra notamment intégrer :

- les dangers et les risques,

---

[9] Toxicité du nanomatériau et du matériau parent.

[10] Le potentiel zêta représente la charge électrique qu'une particule acquiert grâce aux ions qui l'entourent quand elle est en solution.

[11] http://www.dgdr.cnrs.fr/cnps/default.htm (codes d'accès de l'intranet de la CNPS à demander à l'AP ou à l'IRPS).

- la formation au poste de travail qui précisera en particulier les consignes de sécurité à observer au poste de travail,
- la formation sur les moyens de prévention,
- la formation à l'utilisation des EPC[12] et des EPI[13] mis à disposition.

Ces actions, sous la responsabilité de l'employeur, doivent concerner tous les personnels amenés à travailler en présence de nanomatériaux et être renouvelées périodiquement.

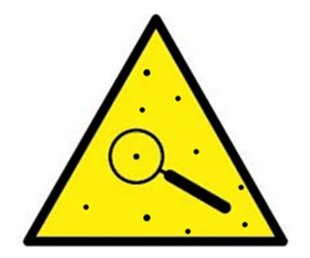
B. Moyens organisationnels

1. Accès limité et signalisation

Les zones où sont manipulés des nanomatériaux doivent être réservées aux seules personnes concernées par cette activité. Les locaux doivent donc être équipés de système permettant de contrôler leur accès (sans pour autant que cela n'entrave leur évacuation en cas d'urgence).

Ceci implique d'identifier clairement les lieux, avec par exemple les signalétiques suivantes :


Contient des nanomatériaux


Risques d'exposition aux nanomatériaux

2. Bonnes pratiques de laboratoire

a) Consignes

Une fiche de poste décrivant mode d'emploi, méthodologie et protocole doit être rédigée et affichée. Elle indiquera particulièrement les différents risques et les moyens pour les prévenir, la conduite à tenir en cas d'accident et d'incident, les consignes de nettoyage de la zone de travail, ainsi que la gestion des déchets.

b) Nettoyage et entretien

Les installations et les lieux de travail doivent être exempts de toute accumulation de nanomatériaux déposés pouvant être remis en suspension dans l'air. Le nettoyage des instruments, des équipements et du mobilier et, si possible, des sols, vitres, portes... doit être effectué par les opérateurs manipulant les nanomatériaux, équipés des protections individuelles adaptées.

A ces fins, les instruments, les équipements (fours, étuves, pompes...), et toutes les surfaces exposées (les sols, le mobilier, les plans de travail, les enceintes ventilées...) doivent être régulièrement dépoussiérés et nettoyés à l'aide de linges humides et/ou d'un aspirateur équipé de filtres à air à très haute efficacité de classe supérieure à H 13[14] (réservé à cet usage et portant une mention du type « Usage réservé aux nanomatériaux »). Il convient de demeurer vigilant à l'étanchéité et au bon fonctionnement de l'appareil.

---

[12] Équipement de protection collective.
[13] Équipement de protection individuelle.
[14] Norme EN 60335-2-69.

L'utilisation d'un jet (soufflette à air, azote...), d'une brosse, d'un balai ou d'aspirateur de type domestique doit être proscrite, que ce soit lors du nettoyage régulier des équipements et des locaux ou suite à un déversement accidentel.

Les sacs et les filtres d'aspirateurs (remplacés régulièrement) ainsi que les chiffons de nettoyage sont ensuite traités comme des déchets dangereux.

c) Opérations de maintenance et de décontamination

Elles doivent être programmées et organisées de façon à éviter toute co-activité. Une information à destination du personnel du laboratoire doit être apposée indiquant par exemple « accès réservé – travaux de maintenance/décontamination en cours ».

Les opérateurs amenés à intervenir, qu'ils fassent partie du personnel ou d'une entreprise extérieure, doivent être informés de la présence de nanomatériaux et formés aux risques.

d) Prévention du risque incendie – explosion

Elle reposera sur les éléments suivants :

- limitation des mises en suspension (nettoyages soigneux, ventilation adaptée, captage, confinement),
- travail sous atmosphère inerte, notamment pour les nanomatériaux présentant des risques d'auto-inflammation (déterminés par une évaluation de risques, voire une étude ATEX[15]),
- limitation des sources d'ignition (points chauds, étincelles, frottements, utilisation de matériels antidéflagrants dans certains cas).

3. Déchets et effluents

Les nanomatériaux sont des agents chimiques. Les déchets (y compris sacs d'aspirateurs, filtres, contenants, emballages, liquides de nettoyage, EPI jetables, papiers absorbants contaminés…) seront donc traités comme des déchets dangereux. Une poubelle dédiée aux déchets solides souillés par des nanomatériaux doit être disposée dans chaque laboratoire, bien identifiée et fermée.

Ces agents chimiques ne doivent, en aucun cas, être rejetés dans l'évier. Des récupérations de déchets liquides (attention aux mélanges incompatibles) doivent être mises en place et bien identifiées.

Les entreprises d'enlèvement seront informées de la nature des déchets conformément à la réglementation.

4. Transport

En l'absence d'une réglementation spécifique sur le transport des nanomatériaux, il convient d'appliquer les règles en vigueur relatives au transport des marchandises dangereuses et de se référer aux réglementations ADR[16], RID[17], IATA[18] et IMDG[19].

Les nanomatériaux étant assimilés à des marchandises dangereuses, le transport par voie postale est interdit.

Les déchets contenant des nanomatériaux doivent être transportés par des entreprises agréées et acheminés vers un centre d'incinération ou de traitement approprié.

---

[15] ATEX : ATmosphère Explosive (normes : NF EN 1127-1, NF EN 60079-10, NF EN 60079-10-1).
[16] Accord Européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route.
[17] Règlement concernant le transport international ferroviaire de marchandises dangereuses.
[18] International Air Transport Association.
[19] International Maritime Transport for Dangerous Goods.

5. Intervention d'une entreprise extérieure

Les zones (local ou poste de travail spécifique) où sont manipulés des nanomatériaux doivent être réservées aux seuls opérateurs. Le nettoyage des locaux, surfaces, équipements doit être réalisé par ces mêmes personnes et en aucun cas par les agents d'entreprise extérieure.

Ces zones doivent être identifiées avec un pictogramme approprié et connu de tout le personnel y compris des entreprises extérieures.

Certaines opérations d'entretien et de maintenance des équipements et des installations effectuées par des entreprises extérieures doivent faire l'objet de plan de prévention afin de définir les mesures de prévention à mettre en place pour limiter les risques d'exposition.

6. Situations d'urgence

Des consignes spécifiques (schéma d'alerte, moyens d'intervention…) doivent être établies pour faire face aux situations d'urgences du type perte de confinement, exposition d'un agent, déversement fortuit…

Au niveau des équipements, prévoir une douche de sécurité, un rince-œil, des lingettes humides et selon l'évaluation des risques, des équipements de protection individuelle et du matériel permettant d'intervenir.

C. Moyens techniques

1. Aménagement des locaux

a) Salle de manipulation

A minima, la manipulation de nanomatériaux doit être réalisée sur un poste de travail spécifique clairement délimité. Les surfaces de travail de ce poste doivent être en matériaux lisses, imperméables, résistantes et facilement nettoyables. Ce poste doit disposer d'un système d'extraction ponctuel spécifique. Il est recommandé que ce système soit pourvu d'un filtre à très haute efficacité de classe supérieure à H 13[20] avant rejet à l'extérieur.

Les sols et parois du local ou du poste de travail spécifique sont imperméables et permettent un nettoyage facile. A titre d'exemple, les revêtements de sols plastifiés avec des remontées en plinthes et les cloisons de type salle blanche répondent à ces critères.

Dans le cas d'un local dédié, celui-ci doit être séparé des autres lieux de travail. Cette séparation peut être réalisée à l'aide d'un sas qui offre la possibilité d'y installer des vestiaires permettant de changer de tenue de travail et de s'équiper des EPI.

Enfin, pour garantir une totale isolation entre les pièces de manipulation des nanomatériaux par rapport aux autres lieux de travail, une ventilation dissociée du reste du bâtiment peut être envisagée. Si c'est le cas, cette ventilation doit permettre de maintenir le local de manipulation en dépression vis-à-vis de l'extérieur (- 20 Pa) et assurer une dépression dans le sas (- 10 Pa) quand il existe.

NB : Dans le cas des salles blanches pour lesquelles les niveaux de pression sont inversés, le confinement doit obligatoirement être assuré par des enceintes ventilées avec rejets extérieurs.

b) Stockage

Le stockage de nanomatériaux dans des armoires ventilées et identifiées du laboratoire doit être limité aux besoins des activités de recherche en cours.

---

[20] Selon la norme NF EN 1822-5.

En effet, il est conseillé de stocker ces agents chimiques dans un local central, ventilé, à la fois isolé et proche du laboratoire. Ce local doit être dédié aux nanomatériaux. Cependant, en cas d'impossibilité, une zone de stockage (par exemple, armoire ventilée) doit être délimitée, identifiée dans ce local et pourvue d'un accès sécurisé.

Les surfaces doivent être lisses et faciles à nettoyer.

Les nanomatériaux doivent être étiquetés, accompagnés de leur fiche de données de sécurité et stockés dans des récipients fermés et étanches. Tout fractionnement et conditionnement doit être effectué dans une enceinte ventilée. Un stockage sous atmosphère contrôlée (type azote) peut être préconisé suite aux résultats de l'évaluation des risques.

2. Protections collectives

Il n'existe pas de réglementation spécifique à la ventilation des laboratoires dans lesquels sont manipulés des nanomatériaux. Au sens de la réglementation relative à l'aération et à l'assainissement des lieux de travail, un laboratoire est un local de travail à pollution spécifique. La concentration des nanomatériaux manufacturés présents dans l'atmosphère doit donc être maintenue la plus basse possible. Pour atteindre cet objectif, il convient de mettre en place une ventilation et prioritairement une ventilation localisée. Il convient de veiller à ce que la ventilation générale ne la perturbe pas.

Dans les laboratoires, les dispositifs de ventilation localisée à privilégier sont les enceintes de confinement. La manipulation de nanomatériaux dans des enceintes isolées et ventilées permet d'éviter leur dissémination dans l'ensemble de l'atmosphère des laboratoires. Plusieurs enceintes ventilées peuvent être employées :

- les sorbonnes de laboratoire (les ETRAF, enceintes ventilées à recirculation, sont à proscrire),
- les postes de sécurité microbiologique (PSM) de type II (voire de type I) et les enceintes à flux laminaire,
- les boîtes à gants ou isolateurs (obligatoires pour les CMR).

Dans le cas d'équipements trop volumineux qui ne peuvent être placés dans une enceinte ventilée, un dispositif de captage des nanomatériaux disposé au plus proche de leur point d'émission doit être mis en place.

3. Protections individuelles

Les agents manipulant des nanomatériaux dans le laboratoire doivent porter des équipements de protection cutanée (gants, blouse, combinaison...), quelle que soit l'opération effectuée. Le recours à des appareils de protection respiratoire est, quant à lui, réservé aux situations où les mesures de protection collective (et notamment la ventilation localisée) sont insuffisantes.

L'ensemble des équipements de protection individuelle doit être maintenu en bon état et nettoyé, pour ceux qui ne sont pas jetables, après chaque usage.

a) La protection respiratoire

Dès lors que la ventilation de l'atmosphère de travail s'avère insuffisante, les opérateurs doivent porter un appareil de protection respiratoire, en tenant compte du fait que les objets de taille nanométrique sont susceptibles de passer par la moindre fuite (problème d'étanchéité de la pièce faciale en contact avec le visage, perforation...).

Pour les travaux peu exposants (transvasement d'une suspension liquide, maintenance d'une pompe...) et lorsque l'air ambiant contient suffisamment d'oxygène (minimum 19 % en volume), il est préconisé de porter un appareil de protection respiratoire filtrant anti-aérosols. Lorsque les opérations sont de courte durée, un demi-masque ou un masque complet à ventilation libre muni d'un filtre de classe 3 peut être utilisé (une pièce faciale équipée d'un filtre P3 ou éventuellement une pièce faciale filtrante jetable FFP3). Si les travaux sont amenés à durer plus d'une heure, il est conseillé de porter un

appareil de protection respiratoire filtrant à ventilation assistée et plus précisément un demi-masque (TM2 P), un masque complet (TM3 P) ou une cagoule (TH3 P) à ventilation assistée.

Pour les travaux exposants (transfert ou déconditionnement de nanopoudres par exemple), il est recommandé de porter un appareil de protection respiratoire isolant, plus précisément un masque complet, une cagoule ou une combinaison complète à adduction d'air comprimé.

b) La protection cutanée

Au regard des premières données publiées, il est recommandé de porter des vêtements de protection de type 5 en Tyvek® (vêtements de protection contre les produits chimiques sous forme de particules). Le port d'un vêtement à usage unique, et notamment d'une blouse jetable (ou en fonction de l'évaluation des risques d'une combinaison à capuche jetable) avec serrage au cou, aux poignets et aux chevilles, dépourvue de plis ou de revers, avec des poches à rabats est ainsi préconisé. Le port de manchettes en Tyvek® peut également être envisagé.

De même, des gants étanches et jetables en matière plastique (nitrile, vinyle ou néoprène) ainsi que des lunettes équipées de protection latérale doivent être portés. Les gants en nitrile ou en vinyle fréquemment utilisés dans les laboratoires semblent constituer, au vu des premiers travaux de recherche, une barrière efficace vis-à-vis des nano-aérosols (toutefois les données sur l'efficacité des gants vis-à-vis des suspensions et des poudres sont très lacunaires). Dans le cas d'expositions cutanées prolongées et répétées, le port de deux paires de gants ou de gants plus épais est recommandé.

L'emploi de couvre-chaussures s'avère également nécessaire afin d'éviter la contamination des zones extérieures au laboratoire.

VI. TRAÇABILITÉ DES EXPOSITIONS

Le suivi de l'exposition doit se faire par l'intermédiaire d'une fiche individuelle d'exposition[21] remplie sous la responsabilité du directeur d'unité. Une copie de cette fiche est transmise au médecin de prévention. Elle précise l'état physique des nanomatériaux auxquels l'opérateur a été exposé, les procédés développés, la durée et la fréquence des manipulations.

VII. SURVEILLANCE MÉDICALE

Dans ce contexte d'incertitude et afin de participer à l'amélioration des connaissances, les médecins du CNRS exercent une surveillance médicale particulière pour les agents exposés aux nanomatériaux. Un examen clinique initial et des examens complémentaires seront réalisés lorsque le médecin de prévention sera informé de l'exposition d'un agent aux nanomatériaux (poste de travail, technique de manipulation, voie de pénétration, équipements de protections collective et/ou individuelle, risque résiduel…) ; il servira de bilan de référence. La nature et la fréquence des examens ultérieurs seront adaptées aux résultats des actions en milieu de travail et à l'évolution des connaissances.

[21] Cette fiche complète la fiche de prévention des expositions prévue à l'article L.4121-3-1 du Code du travail.

ANNEXE 1 : EXPOSITION PROFESSIONNELLE

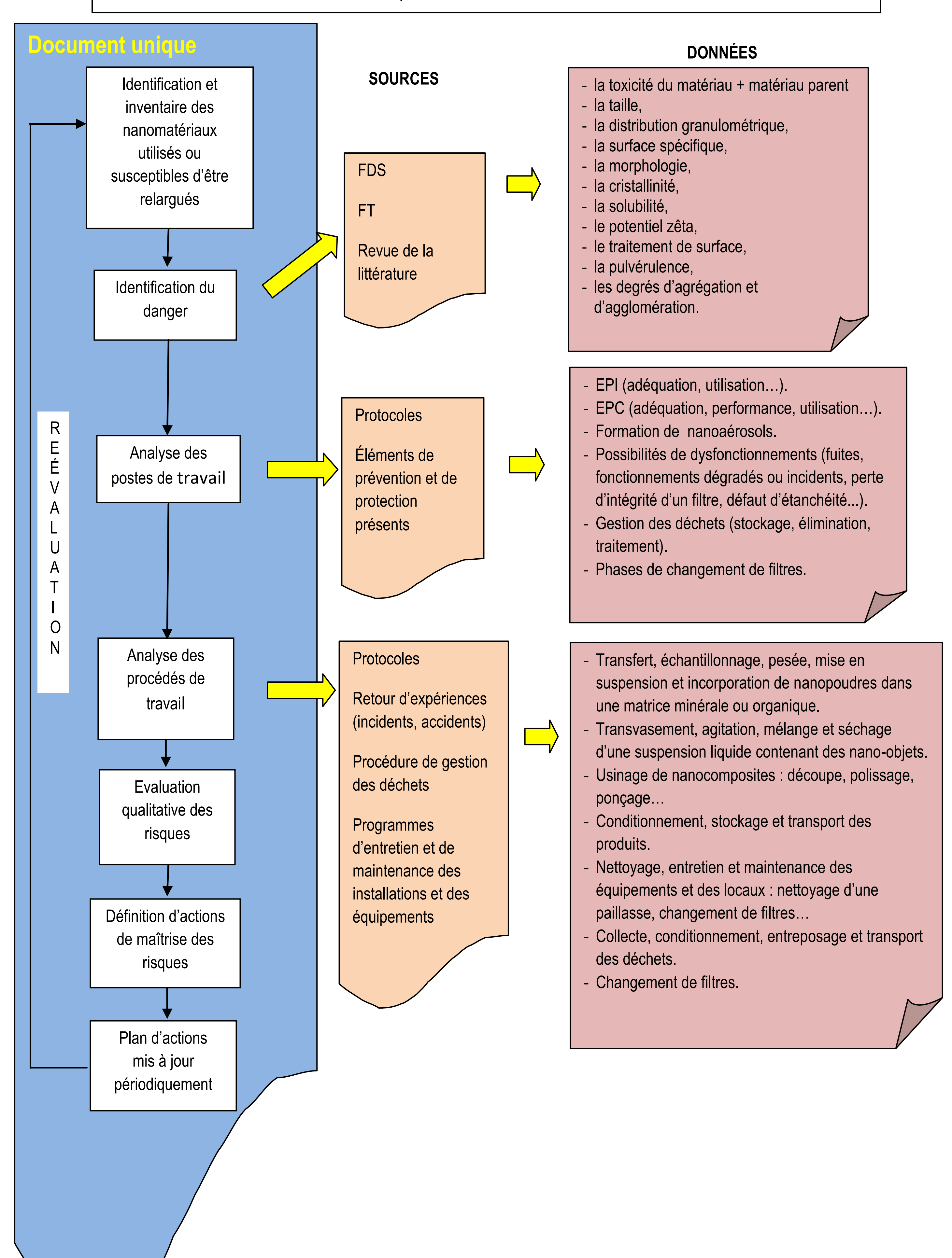
Dans le cadre professionnel, deux types d'exposition doivent être distingués :

- celui lié à des procédés dont la finalité n'est pas la production de nanomatériaux mais qui en génère (soudage des métaux, coupage des métaux, traitement thermique de surface…) ;
- celui lié à la production et à l'utilisation intentionnelle de nanomatériaux (dépôts physiques par évaporation, pulvérisation… ; dépôts chimiques par CVD… ; procédés mécaniques ; procédés thermiques ; formation de colloïdes et précipitation chimique : préparation d'encres, bain de gravure, pulvérisation…).

Phases de travail	Situations d'exposition
Manipulation	• Pesée • Echantillonnage • Mise en suspension • Agitation • Transvasement • Conditionnement et reconditionnement des produits • Manipulation des échantillons, des supports…
Synthèse	• Ouverture d'un réacteur • Récupération de produit • Séchage du produit • …
Elaboration et transformation	• Usinage • Ponçage • Perçage • Polissage • Broyage • Clivage • Métallisation • Microbillage • …
Nettoyage, entretien, maintenance	• Entretien/nettoyage des équipements et des locaux et des surfaces de travail (paillasse, changement des filtres usagés, remplacement des sacs aspirateur…) • Maintenance des équipements et des installations (ventilation…)
Gestion des déchets	• Collecte, conditionnement, entreposage et transport des déchets…
Situation anormale de travail Mode dégradé	• Fuite de réacteur • Déversement • Dysfonctionnements d'équipements et d'installations • Equipements détournés de leur utilisation normale • …

Exemples de situations d'exposition à prendre en considération concernant le poste de travail et son environnement lors des différentes phases de travail - *liste non exhaustive*

ANNEXE 2 : SYNOPTIQUE DE LA DÉMARCHE D'ÉVALUATION



ANNEXE 3 : MESURES DE PRÉVENTION

HUMAINS		
Avis médical de non contre-indication		✓
Formation et information des utilisateurs sur	- la réglementation	✓
	- les dangers et les risques	✓
	- les moyens de prévention	✓
	- les méthodes les plus sûres / les bonnes pratiques de laboratoires	✓
	- l'utilisation des EPC et EPI	✓
	- la gestion des déchets et les procédures de nettoyage	✓
	- les mesures d'hygiène	✓
Fiche individuelle d'exposition		✓
Surveillance médicale		✓
ORGANISATIONNELS		
Bonnes pratiques de laboratoire	- lutte contre la formation des nanoaérosols	✓
	- nettoyage des surfaces et équipements	✓
	- protection des surfaces de travail	✓ (si risque de contamination de surface)
	- procédure de gestion des déchets	✓
	- fiches de poste	✓
	- plan de maintenance et/ou d'entretien	✓
Accès réservé aux seuls utilisateurs		✓
Signalisation des locaux et des postes de travail		✓
Gestion des déchets	- tri et étiquetage des déchets	✓
	- confinement des déchets (emballages hermétiques)	✓
	- élimination des déchets selon les filières adaptées	✓
Gestion des entreprises extérieures	- plan de prévention	✓
	- permis de feu	✓
Transport par société spécialisée	- documents d'information du transporteur et du destinataire	Optionnel
	- double emballage	Optionnel
Conduite à tenir en cas d'accident et d'urgence		✓ (à adapter aux risques)
TECHNIQUES		
Equipements de protection collective (EPC)	- ventilation générale mécanique des salles de manipulation	✓
	- sorbonne, PSM II « nano », enceintes à flux laminaire	✓
	- captage à la source si équipement trop volumineux	✓
	- boite à gants si nanomatériaux CMR	✓
Equipements de protection individuelle (EPI)	- vêtements de protection	✓
	- gants vinyles ou nitriles si exposition cutanée	✓
Aménagement des locaux de travail	- surfaces nettoyables et décontaminables	✓
	- locaux dédiés et séparés des zones tertiaires	✓

✓ : à mettre en œuvre
Optionnel(le) : en fonction des résultats de l'évaluation des risques
CMR : agents chimiques cancérogènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction